

# Influência dos Comportamentos Anatômicos e Neurais no Índice Fator de Preenchimento do EMG

**Palavras-Chave:** eletromiografia, modelo neuromuscular, unidade motora

**Autores(as):**

Mariana Victoria Freire, FEEC

Ricardo Gonçalves Molinari, FEEC

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carina Marconi Germer, FEEC

---

## INTRODUÇÃO:

O índice Fator de Preenchimento (FF, do inglês *filler factor*) da eletromiografia de superfície (EMG) quantifica o grau de preenchimento do sinal, refletindo indiretamente a relação sinal-ruído [1]. Durante tarefa de extensão gradual do joelho até 40% da contração voluntária máxima (MVC, do inglês *maximal voluntary contraction*), esse índice apresentou comportamento distinto entre os músculos do quadríceps [1]. No reto femoral, o FF aumentou progressivamente com o aumento da força, enquanto nos músculos vasto lateral e medial, foram observadas uma ou duas reduções abruptas no índice, indicando presença abrupta de potenciais de ação de grande amplitude no EMG. Estes comportamentos do FF foram nomeados como padrão contínuo e pulsátil/saltatório. Entretanto, alguns fatores experimentais alteraram o padrão pulsátil para contínuo no músculo vasto lateral, como em aumento abrupto de força ao invés do gradual [2], e quando a tarefa é realizada por mulheres [3]. Neste último estudo, como o padrão pulsátil foi observado na maioria dos EMGs de homens, uma hipótese que surgiu foi que a camada subcutânea poderia ser um fator decisório neste padrão saltatório do FF. Os homens geralmente apresentam uma camada de gordura subcutânea mais fina, o que reduz o efeito atenuador da amplitude dos potenciais de ação nos sinais de EMG. Além da camada subcutânea, outros fatores neurofisiológicos podem influenciar o padrão do EMG, como a distribuição da amplitude dos potenciais das unidades motoras e o padrão de recrutamento dessas unidades. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo investigar como comportamentos anatômicos e neurais influenciam o índice FF, por meio de simulações computacionais com um modelo neuromuscular, buscando elucidar as características neurofisiológicas associadas aos padrões contínuos ou pulsátil observados no índice FF.

## METODOLOGIA:

A fim de explorar o efeito de características neurofisiológicas no padrão do FF, foi utilizado o modelo computacional neuromuscular NeMU [4] para simular o EMG do músculo vasto lateral. Para tanto, a quantidade de unidades motoras do tipo 1, 2a e 2b foram configuradas com os valores 40, 32 e 20, respectivamente [5].

Os fatores neurais investigados foram: a faixa de recrutamento (RR, do inglês *recruitment range*), que controla em qual intensidade, proporcional à contração máxima, toda a população de unidades motoras é recrutada; a intensidade normalizada dos comando excitatórios descendentes da última unidade motora recrutada ( $\tilde{e}$  LR, do inglês *normalized excitatory drive that recruits the last motor unit*) e a amplitude do potencial de ação da última unidade motora recrutada ( $MU_n$  AM, do inglês *n motor unit amplitude*). Para a faixa de recrutamento, foi explorado os valores 60 e 200, para a LR, 40 e 90, e para a amplitude, 80 e 130 mV.

Em seguida, foram investigadas as características da pele e camada subcutânea. Para isso, foi considerado como base um modelo em que o RR = 60, LR = 40 e Am = 130, e foram analisados dois cenários: i) camada de pele de 0.1 mm e 0.2 mm de gordura, ii) camada de pele de 3 mm e a de gordura 5 mm.

Para cada conjunto de fatores explorados, foi realizada uma simulação com um comando excitatório descendente aumentando gradualmente de intensidade de 0 a 40% da excitação máxima por 60 segundos, simulando as condições experimentais da literatura [1]. Os sinais de EMG foram então obtidos e processados por algoritmos desenvolvido na linguagem Python.

O cálculo do fator de preenchimento é dado a partir da raiz da média quadrática (RMS) de amostras do EMG a cada janela de 0.7 s, sem sobreposição, em que  $|x[n]|$  refere-se ao módulo do sinal EMG e N ao número de amostras:

$$(1) m_1 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|$$

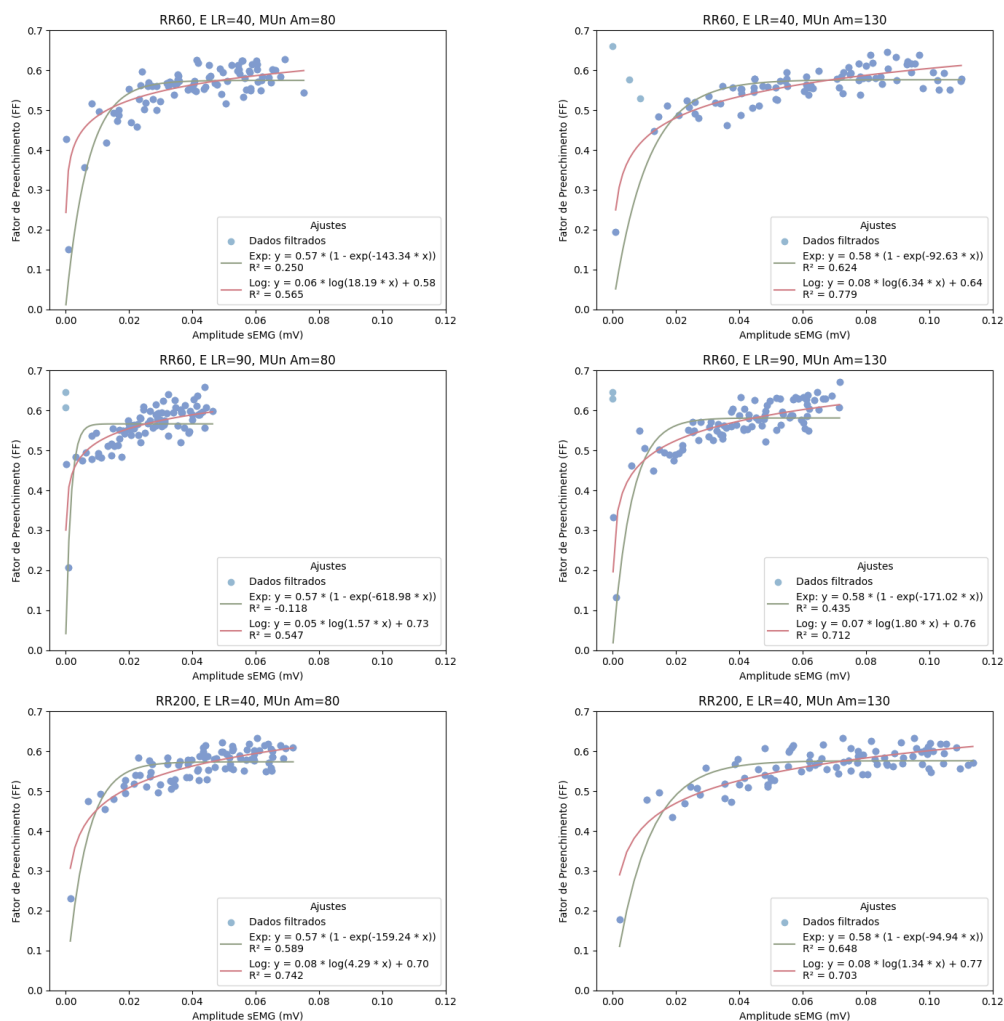
$$(2) m_2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2$$

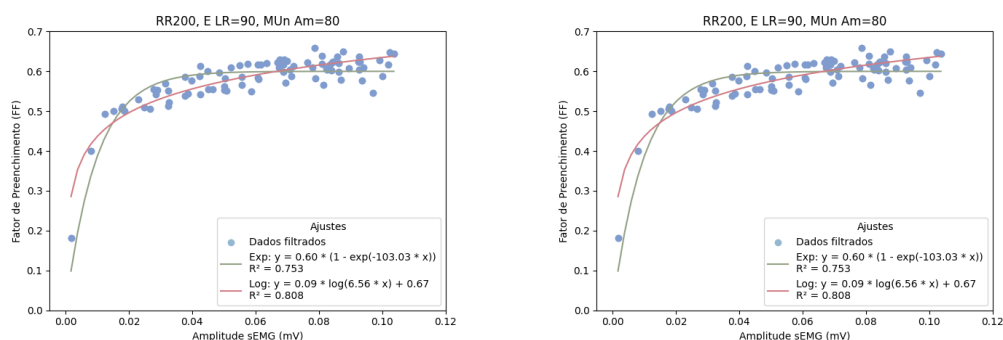
$$(3) FF = \frac{m_1^2}{m_2}$$

A relação entre o FF obtido ao longo de uma tarefa de contração e a amplitude do EMG é apresentada em um gráfico, e, então, é observado se o EMG cresce de maneira contínua ou se há aumentos abruptos na amplitude (pulsátil). Para descrever o comportamento do FF, foram ajustadas curvas exponencial e logarítmica aos dados obtidos. O coeficiente de determinação foi utilizado para definir qual ajuste melhor representa os dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

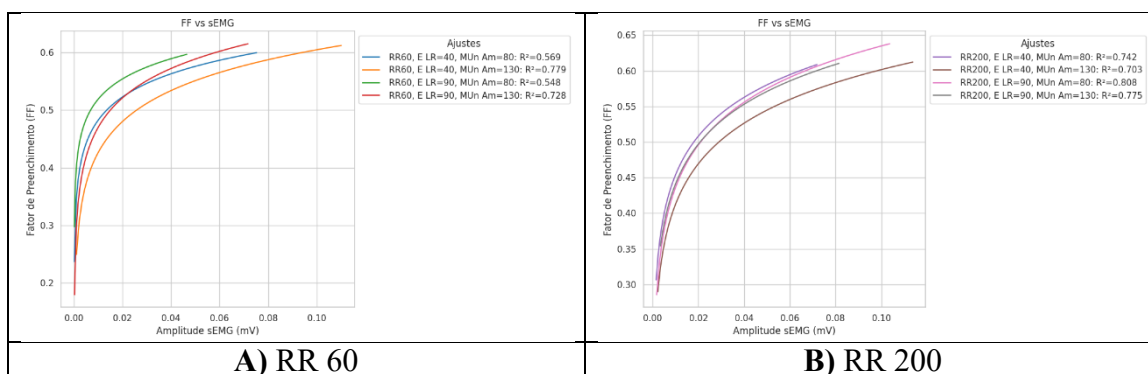
A Figura 1 apresenta os FF para as simulações com as diferentes combinatórias de fatores neurais explorados. Nota-se que, em todos os casos, o FF apresentou um comportamento contínuo, com apenas uma redução do FF que correspondeu logo ao início da contração.





**Figura 1:** Fator de Preenchimento (FF) em relação à amplitude do sinal de EMG para diferentes simulações computacionais. Os títulos indicam os parâmetros utilizados, sendo RR a faixa de recrutamento, E LR o nível excitatório da última unidade motora e MUn AM a amplitude do potencial de ação da última unidade motora. Cada marcador indica o FF nas janelas de 0,7s. As linhas cinza e vermelha representam os ajustes exponencial e logarítmico, respectivamente.

A fim de facilitar o entendimento da influência de cada fator, foram agrupados os ajustes logarítmicos das diferentes simulações, pois possuem o maior valor do coeficiente de determinação  $R^2$ . A Figura 2 mostra o comportamento do FF quando a faixa de recrutamento é fixada. Nota-se que para uma taxa de recrutamento menor, a tendência é uma curva logarítmica muito mais acentuada. Observa-se, também, que a amplitude da última unidade motora tende a desacelerar esta curva, enquanto o nível de excitação tende a acelerar, principalmente na condição RR60.

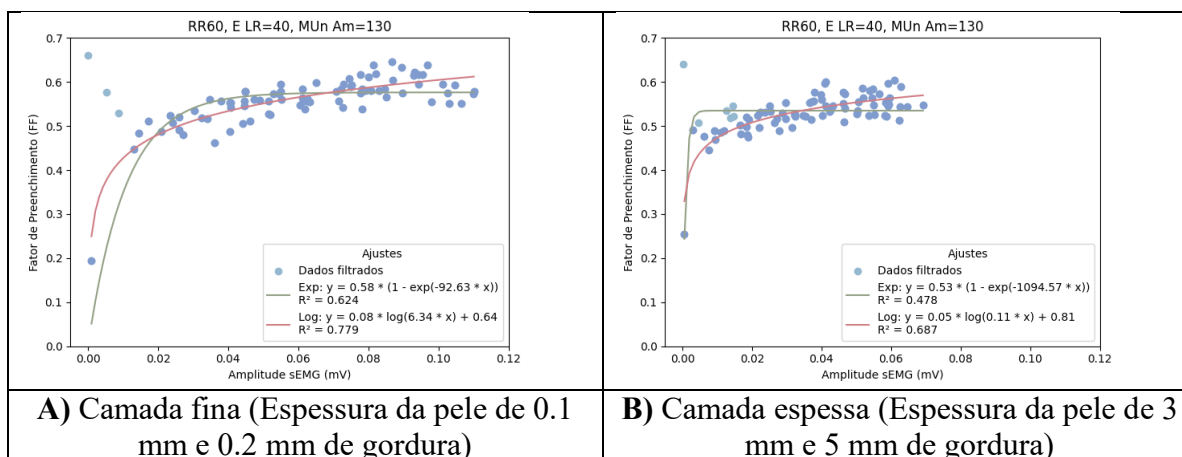


**A) RR 60**

**B) RR 200**

**Figura 2:** Ajuste logarítmico, fixando a faixa de recrutamento (RR) em dois valores: 60 e 200

Em relação à camada subcutânea de gordura e espessura de pele, o FF também se mostrou contínuo (Figura 3).

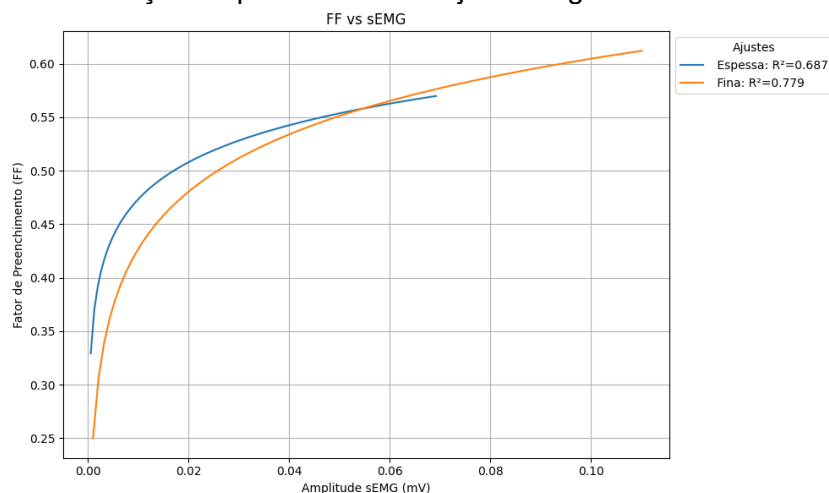


**A) Camada fina (Espessura da pele de 0.1 mm e 0.2 mm de gordura)**

**B) Camada espessa (Espessura da pele de 3 mm e 5 mm de gordura)**

**Figura 3:** Fator de Preenchimento (FF) em relação à amplitude do sinal de EMG para diferentes simulações computacionais de espessuras da camada subcutânea. As linhas cinza e vermelha representam os ajustes exponencial e logarítmico, respectivamente

Para uma melhor visualização foi plotado os dois ajustes logarítmicos em uma mesma figura:



**Figura 6:** Ajuste logarítmico do Fator de Preenchimento para os cenários de uma camada subcutânea espessa e fina

Conforme esperado, a amplitude do EMG apresenta valores mais baixos para camadas mais espessas, devido ao efeito filtrante do volume condutor, e apresentou uma curva de FF mais acentuada.

## CONCLUSÕES:

As simulações apresentadas indicaram que alterações nos fatores neurais (faixa de recrutamento, força excitatória e amplitude dos potenciais de ação) e anatômicas (espessura da pele e gordura) não conseguiram representar um padrão pulsátil do FF. Este, se mostrou contínuo, independentemente da combinatória dos fatores. Outros fatores neurais e morfológicos devem estar relacionados com o padrão pulsátil observado, mas novas simulações são necessárias.

## BIBLIOGRAFIA

- 1: RODRIGUEZ-FALCES J., MALANDA A., MARISCAL C., NIAZI IK, NAVALLAS J. **Validation of the filling factor index to study the filling process of the sEMG signal in the quadriceps.** *J Electromyogr Kinesiol.* 2023 Oct; 72:102811.
- 2: RODRIGUEZ-FALCES J., MALANDA A., MARISCAL C. et al. **The probability density function of the surface electromyogram and its dependence on contraction force in the vastus lateralis.** *BioMed Eng OnLine* 23, 106 (2024).
- 3: RODRIGUEZ-FALCES, JAVIER et al. **The filling factor of the sEMG signal at low contraction forces in the quadriceps muscles is influenced by the thickness of the subcutaneous layer.** *Frontiers in physiology* vol. 14 1298317. 5 Jan. 2024
- 4: MOLINARI, R.G., ELIAS, L.A. (2019) **An interactive Python notebook as an educational tool for neuromuscular control.** In: *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*, Chicago.
- 5: STARON, R S et al. **Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women.** *The journal of histochemistry and cytochemistry: official journal of the Histochemistry Society* vol. 48,5 (2000): 623-9.